

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICA E MECÂNICA DO CONCRETO LEVE CONFECCIONADO COM POLÍMEROS SINTÉTICOS

LORA, Matheus¹.
FORIGO, Camila².

RESUMO: Visando atender às exigências de conforto, economia e durabilidade, o concreto convencional atualmente vem recebendo atenção dos tecnologistas com o objetivo de, cada vez mais, melhorar as suas características e conseqüentemente seu desempenho. A procura da remodelação do seu processo produtivo necessita da utilização de materiais com baixo valor financeiro, fazendo com que o avanço tecnológico no ramo da construção civil se torne mais viável em relação à outros setores. Neste trabalho, além da confecção dos concretos leves com agregados poliméricos, foram analisadas as vantagens do seu uso na construção civil, sua massa específica e a respectiva resistência à compressão comparando-os com o concreto convencional. Tratou-se de uma pesquisa experimental que foi realizada pelo método qualitativo, restringindo-se a testes laboratoriais, em que foi analisada a resistência à compressão de corpos de prova de concreto, confeccionados com porcentagens variadas de 3 tipos de polímeros como substitutos do agregado gráúdo natural. A fim de classificar os concretos modificados, aqueles com grânulos de PEAD e EPS foram considerados concretos leves, visto que reduziram as suas massas em aproximadamente 35% em relação ao concreto C20 (convencional). O concreto modificado com porcentagens de PVC acabou sendo o pior por ser o mais pesado, tendo a mistura de 50% desconsiderada por ultrapassar o limite de concreto leve (até 2000 kg/m³ segundo a ABNT NBR 6118:2014) e além disso ser o menos resistente entre os três matérias analisados, apresentando uma média de aproximadamente 4 MPa aos 28 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto leve, Resistência, Massa específica, Polímeros.

1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de buscar ferramentas que promovam um desenvolvimento do setor industrial, a procura da remodelação do seu processo produtivo necessita da utilização de materiais com baixo valor financeiro, fazendo com que o avanço tecnológico no ramo da construção civil se torne mais viável em relação a outros setores.

Segundo Biasotto (1991), os materiais de engenharia são agrupados em clássicos e não clássicos, sendo que os clássicos ou convencionais compreendem madeiras,

¹ Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, matheuslora@gmail.com;

² Mestre, Engenheira Civil e Docente do Curso Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, Cascavel-PR, camilaforigo@fag.edu.br.

cerâmicas, vidros e metais, e os não clássicos compreendem os polímeros, que são materiais mais recentes, cuja estrutura molecular somente se tornou conhecida no final da década de 20.

Muitos produtos químicos obtidos sinteticamente, além das macromoléculas encontradas na natureza, podem apresentar longas cadeias. Neste caso, são geralmente denominados polímeros (BIASOTTO, 1991).

Mehta e Monteiro (1994), relatam que o concreto convencional, feito com cimento Portland e agregado natural, apresenta diversas deficiências. Aplicado a isso, existem estudos de concretos especiais, que conforme definido por Figueiredo *et al.* (2004), possuem características particulares devido à evolução tecnológica e tendem a melhorar o concreto convencional e/ou incorporar propriedades não inerentes a este material.

O concreto confeccionado com a adição de polímeros tem sua aplicação destinada a pisos industriais, tabuleiros de pontes, bem como, para recuperação de pavimentos deteriorados, referenciado nesses quesitos por aumentar a proteção da armadura de aço à corrosão (ACI 548.1R, 1997).

O EPS (Poliestireno expandido) é utilizado na construção civil principalmente devido às suas propriedades, como baixa densidade aparente, boa isolamento térmica e acústica, fácil manuseio e transporte, permitindo economia no custo final da obra. O PVC (Cloro de Polivinila) é mais eficiente em alguns quesitos, como resistência química e a intempéries, isolamento térmico e acústico, fácil instalação e baixa manutenção (DA ROCHA G. S. *et al.*, 2012). Já o Polietileno de alta densidade (PEAD) possui permeabilidade ao vapor d'água quase nula, boa resistência a choques térmicos e a baixas temperaturas.

Nesta pesquisa experimental, realizada pelo método qualitativo, além da confecção dos concretos leves com os agregados supracitados, serão analisadas as vantagens do seu uso na construção civil, sua massa específica e a respectiva resistência à compressão, restringindo-se a testes laboratoriais, comparando-os com o concreto convencional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

Mehta e Monteiro (1994), definem concreto como o material manufaturado mais utilizado do planeta. É proveniente da mistura de cimento Portland, areia, pedra britada e

água. Por ser um produto manufaturado, existe uma quantidade de resíduos industriais que podem ser reciclados e aderidos ao concreto, que substituem o material cimentante e/ou agregados.

O principal objetivo de usar o polímero no concreto é sempre para obter um concreto de melhor qualidade. Compósitos de polímero no concreto podem trazer amplamente uma resistência superior à tração e uma melhor aderência, bem como frequentemente melhorar outras propriedades, como por exemplo, resistência à abrasão, à tensão de vapor e d'água, resistência ao congelamento e ataques químicos (CZARNECKI, 2007).

Todavia, um estudo mais detalhado se faz necessário visando a melhoria do produto. A adição de polímeros em massas de concretos mostra-se viável, uma vez que as propriedades mensuradas estejam em concordância com a ABNT NBR 7211:2005.

2.1.1 Concreto leve

Rossignolo (2009), afirma que o concreto leve apresenta-se como um material de construção consagrado em todo o mundo, empregado em diversas áreas da construção civil, como edificações pré-fabricadas, pontes e plataformas marítimas. A aplicação desse material é particularmente atribuída aos benefícios promovidos pela diminuição da massa específica do concreto, como a redução de esforços na estrutura das edificações, a economia com formas e cimbramento, tal como a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas.

De acordo com Rossignolo (2009), também verifica-se que, a substituição dos agregados convencionais por agregados leves pode ocasionar alterações significativas no desempenho de outras propriedades do concreto, como a resistência mecânica, a durabilidade, a estabilidade dimensional e a condutividade térmica.

2.1.2 Dosagem do concreto

Helene e Tutikian (2011), conceituam a dosagem como procedimento necessário à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais. O estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a mistura ideal e mais econômica, para uma determinada região do país e com os materiais ali disponíveis, com o intuito de

atender uma série de requisitos. Sendo esses: resistência mecânica, durabilidade, deformabilidade e sustentabilidade. Helene e Tutikian (2011), concluem que podem se relacionar alguns princípios da dosagem dos concretos:

- A resistência à compressão de um concreto é 95% explicada pela resistência da pasta;
- A máxima resistência será, teoricamente, alcançada com uma pasta de cimento simples;
- A resistência à compressão dos concretos depende essencialmente da relação a/c;
- A consistência de um concreto fresco depende fundamentalmente da quantidade de água por m³.

2.2 Polímeros Termoplásticos

Segundo Smith e Hashemi (2010), a palavra polímero, literalmente, significa "muitas partes". Um material polimérico sólido pode ser considerado aquele que contém muitas partes quimicamente ligadas ou unidades que são ligadas para formar um sólido. O plástico é um dos materiais poliméricos mais importantes para a indústria, podendo ser dividido em duas classes, termoplásticos e termofixos, a depender de como são ligados quimicamente e estruturalmente.

Conforme Askeland e Phulé (2008), polímeros termoplásticos são compostos de cadeias longas produzidas pela união ou singularidade de monômeros, eles têm comportamento mecânico, plástico e dúctil. Os homopolímeros são materiais poliméricos formados por cadeias poliméricas constituídas por um único tipo de unidade de repetição. Já os copolímeros são formados por cadeias poliméricas constituídas por duas ou mais unidades de repetição quimicamente diferentes, que podem estar em sequências diferentes (SMITH, 1998). Além disso, os autores embasam que os polímeros termoplásticos possuem cadeias lineares flexíveis, conseqüentemente, quando aquecidos, amolecem e fundem e, assim, podem adquirir formas de diversos objetos, podendo ser reciclados com facilidade.

Dentre os homopolímeros e copolímeros termoplásticos, cita-se como referências:

a) Polietileno (PE):

Petrucci (1998), define plásticos e hidrocarbonetos como materiais orgânicos artificiais, dando um exemplo de um hidrocarboneto saturado com centenas de carbonos, o polietileno (PE). Smith (1998), explana polietileno dividindo-o em dois tipos: polietileno de baixa densidade (PEBD) e de alta densidade (PEAD).

O polietileno de baixa densidade possui uma estrutura ramificada, enquanto o polietileno de alta densidade tem essencialmente uma estrutura em cadeia linear. O PEAD é processado com pressão e temperatura de reação de conversão do etileno em polietileno relativamente baixas.

Smith (1998), enfatiza que, por possuir poucas ramificações em sua cadeia principal, o polietileno de alta densidade apresenta um aumento de resistência mecânica e cristalinidade por causa de suas cadeias poderem se empilhar de maneira mais compacta.

b) Poliestireno (PS):

Smith (1998), define poliestireno (PS) como um homopolímero consideravelmente frágil se não for modificado. De um modo geral, os poliestirenos possuem boa estabilidade dimensional, baixa retração na moldagem, boas propriedades de isolamento elétrico e propriedades mecânicas adequadas dentro dos limites de temperatura aplicáveis.

c) Cloreto de Polivinila (PVC):

De acordo com Petrucci (1998), é um material sintético de suma importância, termoplástico, duro, metálico, mas que com agentes modificadores, pode ser amolecido e flexibilizado. Conhecido por PVC, foi descoberto há mais de 100 anos, porém foi desenvolvido em 1925.

Segundo Bauer (1994), o Cloreto de Polivinila é o plástico mais utilizado na construção civil. Isso se deve ao fato de que, principalmente, possui um custo relativamente baixo. O material é obtido através do acetileno e do cloreto de hidrogênio.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e métodos

Os materiais utilizados nesta pesquisa foi com o intuito de se obter concreto leve substituindo os agregados por polímeros, para isso utilizou-se o aglomerante cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI) Itambé, agregados naturais do tipo basáltico com diâmetro máximo de 19 mm (brita 1), 9,5 mm (brita 0), areia média com módulo de finura de 1,825, polímeros PEAD e PVC da empresa de reciclagem que situada em Guarulhos-SP, a Plasticobre, o EPS é procedente da Isoart, de Santa Tereza-PR, água proveniente da rede de distribuição e o aditivo CQ Plast PN, do tipo plastificante, da empresa Camargo Química de Blumenau-SC.

Na produção do concreto, estabeleceu-se o traço de 1:2,1:2,28:0,98 e relação água cimento de 0,58, referentes a resistência característica (f_{ck}) de 20 MPa, conforme apresentado na Tabela 01. Com a massa específica respectiva de cada material, seu consumo final em relação ao cimento e quantidade em kg referente aos 30 corpos de prova.

Tabela 01: Consumo de materiais.

Materiais	Traço	Massa Específica	Quantidade
Cimento	1	3,12 g/cm ³	2,12 kg
Areia	2,1	2,615 g/cm ³	4,45 kg
Brita 1	2,28	3,015 g/cm ³	4,83 kg
Brita 0	0,98	2,82 g/cm ³	2,07 kg
Água	0,58	1 g/cm ³	1,23 l
Aditivo	-	-	0,18 ml
Consumo cimento	353,45 kg/m³		

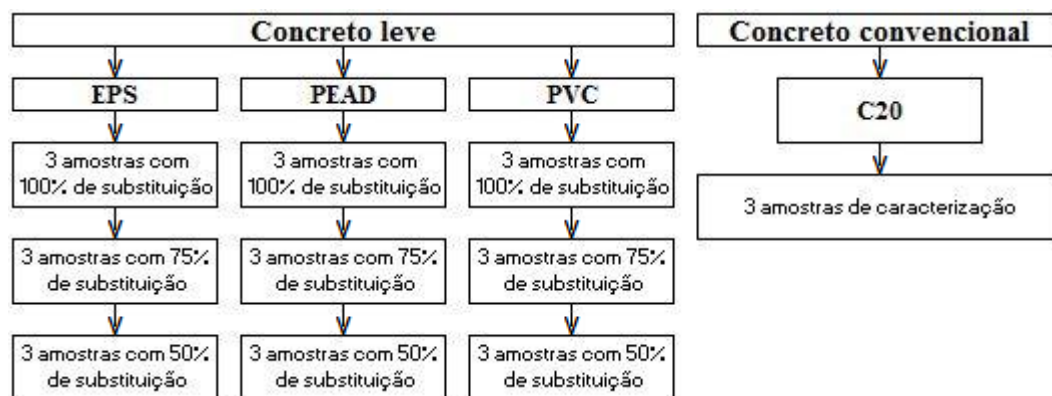
Fonte: Autor, 2019.

A coleta de dados foi feita de forma comparativa, evidenciando as semelhanças e diferenças das amostras analisadas. O procedimento foi realizado dispondo de ensaios laboratoriais, sendo eles: caracterização da massa específica e a análise da resistência à compressão no estado endurecido do concreto modificado com polímeros e do concreto convencional.

Ao todo, 30 amostras foram elaboradas, ambas utilizaram as mesmas porcentagens de substituição de 50%, 75% e 100% sobre o agregado graúdo e cumpriram as diretrizes da ABNT NBR 5738:2015.

As amostras foram subdivididas em três etapas, sendo que na primeira foram confeccionados 3 corpos de prova de caracterização, seguidamente, trabalhando com substituição de grânulos de PEAD e PVC sobre o agregado graúdo, foram feitos mais 18 exemplares, os outros 9 corpos de prova restantes, foi utilizado flocos de EPS. O processo seguiu conforme o indicado na Figura 01.

Figura 01: Fluxograma do total de amostras pelo tipo de composição e caracterização.



Fonte: Autor (2019).

A confecção do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira, respeitando a ordem de colocação dos materiais em todos os procedimentos, sendo eles: agregado polimérico, brita, 50% da água, espera de aproximadamente 1 minuto com a betoneira ligada, cimento, areia e os outros 50% da água com aditivo, aguardando mais 3 minutos para que assim, ocorresse a homogeneização todos os materiais. A implementação do aditivo fez com que a quantidade de água fosse reduzida de 1,2 litros para 0,85 litros, que foi utilizado por se tratar de um plastificante que melhora a compactação e diminui a retração dos concretos.

A moldagem dos corpos de prova ocorreu subsequentemente a conclusão do processo da confecção do concreto, que foram sobrepostos em uma superfície horizontal durante um período total de 24 horas, para que o conteúdo do molde se firmasse adequadamente, representados na Figura 02.

Figura 02: Corpos de prova em seus respectivos moldes.



Fonte: Autor (2019).

Posteriormente, eles foram desformados e levados a uma câmara úmida, permanecendo lá por 7 dias, após esse período foram retirados e reservados ao ar pelo

restante do período de 21 dias, seguindo o que é proposto no item 8.2.5 da ABNT NBR 5738:2015, representado na Figura 03.

Figura 03: Cura dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2019).

O ensaio de resistência à compressão do concreto foi realizado seguindo o proposto na ABNT NBR 5739:2018, após serem retificados, pesados e medidos, o processo de rompimento dos corpos de prova decorreu-se com a utilização de uma prensa hidráulica, modelo pórtico 100t, da marca Contenco, ensaio esse mostrado na Figura 04.

Figura 04: Corpo de prova na prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2019).

3.2 Análise de dados

Após a coleta de dados, foi realizada a respectiva análise por meio de revisão bibliográfica, normativas e da relação entre as resistências obtidas com concreto com polímeros e o concreto convencional, definindo assim qual o polímero, dentre os três analisados, apresenta melhor resultado como substituto do agregado graúdo.

Os dados coletados foram armazenados em planilhas no Excel, para posterior análise.

3.3 Caracterização dos agregados

a) Análise granulométrica

A granulometria dos agregados graúdos foi realizada por peneiração nas peneiras superiores à de malha 4,75 mm enquanto aos agregados miúdos ocorre o mesmo processo, porém com a peneiração das malhas inferiores a 4,75 mm da série normal. Essa análise é

realizada de acordo com a ABNT NBR NM 248:2001, tendo amostragem conforme o item 5.1 da mesma.

Segundo Petrucci (1998), esse processo denomina-se análise granulométrica, expressa em %, e os diferentes tamanhos de grãos se encontram constituindo o todo. Sendo expressa pelo material que passa ou pelo material retido, por peneira ou acumulado. Em geral faz-se a peneiração em aparelhos denominados de mesa vibratória ou agitador de peneiras.

O processo representado nas Figuras 05 e 06 se baseia no seguinte: separa-se uma amostra do material, esta é levada a uma estufa onde permanece lá por 24h a uma temperatura controlada de 110°C, após esse período, o material é retirado, peneirado e a quantia retida em cada peneira é pesada com aproximação de 0,1% do peso da amostra. Seguidamente, calculam-se as porcentagens retidas e após, as acumuladas, pode-se montar a curva granulométrica de cada agregado.

Figura 05: Material na estufa.



Fonte: Autor (2019).

Figura 06: Material no agitador de



Fonte: Autor (2019).

b) Massa específica aparente

De acordo com a ABNT NBR NM 52:2009, o conceito de massa específica é relacionado às partículas que constituem o agregado. É, portanto, afetado pelas características das partículas, sendo densas e impermeáveis ou sendo completamente porosas.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), para os fins de dosagem do concreto, não é necessário determinar a massa específica real de um agregado. Petrucci (1998), explana que a massa específica real ou absoluta só pode ser obtida reduzindo o material a pó, de modo a eliminar o efeito dos vazios impermeáveis. Desse modo, a massa específica aparente denomina-se como massa específica.

O agregado gráúdo teve sua massa específica determinada conforme os procedimentos da ABNT NBR NM 53:2009. Deu-se início ao ensaio com a secagem das amostras em estufa a uma temperatura controlada de 110°C, após 24 horas, foram aferidas

as suas massas, ambas passaram pela lavagem, após esse processo foram pesadas novamente e por último a massa saturada submersa de cada parte.

Por fim, ao resultado das massas específicas aparentes foram calculadas e apresentadas nas Tabelas 03 e 04 do apêndice B, obteve-se uma média de 2,82 kg/m³ para a brita 0 e 3,015 kg/m³ para a brita 1, respectivamente.

O procedimento para a determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizado conforme indicado na ABNT NBR NM 52:2009, tendo um grau de complexidade maior que o proposto para o ensaio com o agregado graúdo.

Segundo a norma, o início do ensaio é semelhante ao de agregado graúdo, as amostras são separadas e levadas a estufa a uma temperatura de 110°C, para que a sua umidade seja reduzida por completo. Após 24 horas, as amostras foram pesadas e colocadas em um picnômetro, com volume de 1000 cm³, houve a pesagem do conjunto.

O frasco teve de ser enchido com água até a marca de 500 cm³, e após, ocorreu a eliminação das bolhas de ar, processo que consistia em movimentar o conjunto de uma forma que as bolhas de ar sumissem da amostra. Posteriormente, foi separada, e passou por um processo de banho mantido em temperatura constante de aproximadamente 23°C. Após 1 hora, o frasco foi completado novamente com água até a marca de 500 cm³, e foi determinada a massa total do conjunto.

Possuindo as massas e os volumes anotados, as fórmulas e os resultados do ensaio são representados na Tabela 02 do apêndice B, o resultado da massa específica do agregado miúdo foi de 2,615 kg/m³.

c) Teor de umidade da areia

Petrucci (1998), explana que como os agregados miúdos são adquiridos para utilização mais ou menos úmidos, isto obriga a determinação periódica do seu teor de umidade, como é mostrado na Tabela 05, para corrigir a quantidade de água que deverá ser empregada na confecção das argamassas e concretos.

Tabela 05: Teor de umidade da areia.

Fórmula	Massa úmida	Massa seca	Teor de umidade
$H = \frac{mu - ms}{ms} \times 100$	1000 g	944,4 g	5,88%

Fonte: Autor (2019).

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria

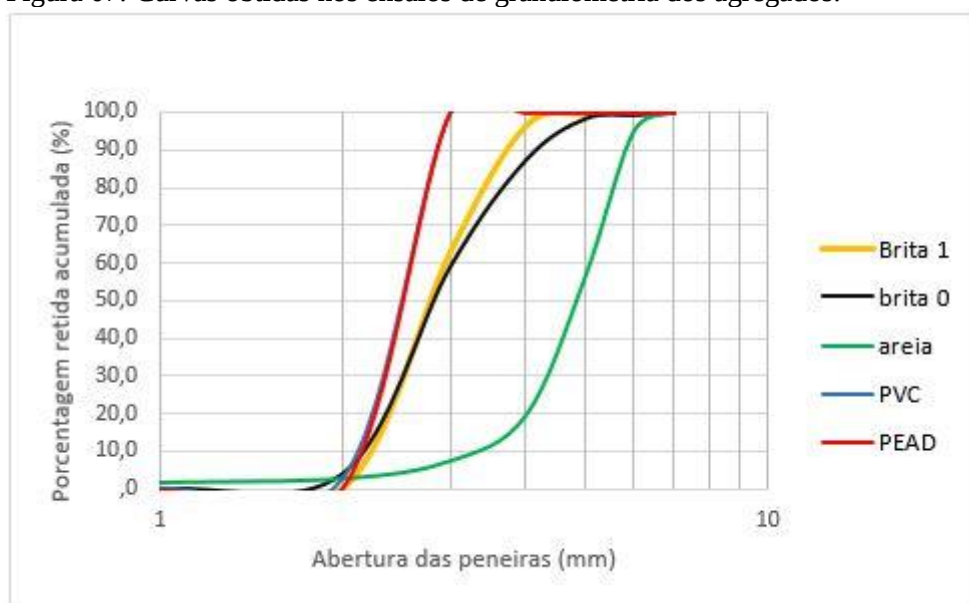
As curvas de granulometria, originadas pelo ensaio de composição dos agregados, dispostos no apêndice A, são linhas que unem pontos que representam o resultado da análise granulométrica, ou seja, as aberturas das malhas nas abscissas (eixo x) e as porcentagens retidas acumuladas nas ordenadas (eixo y).

Estas curvas são fundamentais para analisar de forma rápida a granulometria do agregado, deixando evidente alguma deficiência quanto a falta de partículas de dada dimensão em alguma fração granulométrica.

As curvas granulométricas permitiram analisar de forma prática o diâmetro e a variação das partículas como um todo deixando evidente uma particularidade entre os grãos sintéticos. As curvas geradas pelos dados granulométricos das amostras poliméricas, representadas como azul e vermelho na Figura 07, mostram que o diâmetro das partículas são idênticas e a análise desses materiais foi diferenciada somente pela sua massa.

Na Figura 07, estão dispostas as curvas granulométricas obtidas através dos agregados, sendo representadas por cores, em que a cor verde representa areia, preta a brita 0, amarela a brita 1, vermelha o PEAD e azul o PVC.

Figura 07: Curvas obtidas nos ensaios de granulometria dos agregados.



Fonte: Autor (2019).

Porém, a granulometria dos flocos de EPS apresentou uma grande dificuldade para ser realizada por conta do material ser de origem reciclável e ser extremamente leve, assim

atrapalhando o manuseio, que acabava se alastrando pelo ambiente dificultando o peneiramento.

A Figura 08 representa visualmente um floco de EPS cuja medida é de aproximadamente 15 mm, com isso o diâmetro máximo deve ser considerado 12,5 mm por conta de ser a abertura de peneira inferior, o floco se encontraria retido.

Figura 08: Floco de EPS.



Fonte: Autor, 2019.

4.2 Diâmetro máximo dos agregados e Módulo de Finura da areia

De acordo com a ABNT NBR 7211:2005, denomina-se diâmetro máximo do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) a abertura da peneira em que ficar retida, acumulada, uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%. O módulo de finura (MF), por definição na norma, é a soma das porcentagens retidas acumuladas, divididas por 100. Ambas as informações estão presentes na Tabela 06.

Tabela 06: $D_{m\acute{a}x}$ dos agregados e Módulo de Finura da areia.

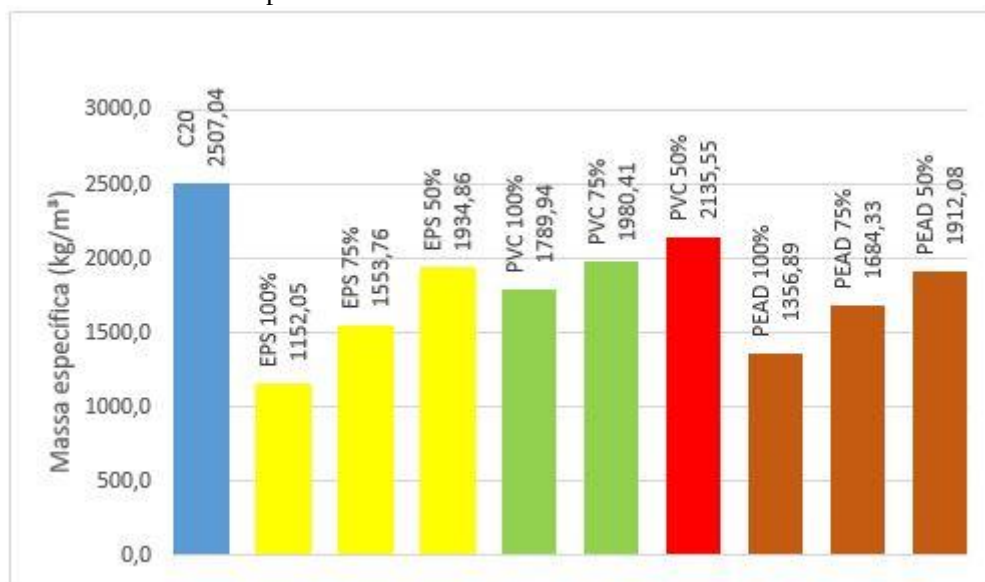
Materiais	$D_{m\acute{a}x}$	MF
Brita 1	19 mm	-
Brita 0	9,5 mm	-
EPS	12,5 mm	-
PEAD	4,75 mm	-
PVC	4,75 mm	-
Areia	-	1,825

Fonte: Autor (2019).

4.3 Massa específica aparente

De acordo com as massas específicas dos concretos apresentados na Figura 01, a utilização de agregados leves ocasionou de fato uma redução de peso quando comparado com o convencional.

Gráfico 01: Massas específicas médias dos concretos modificados.



Fonte: Autor (2019).

Analisando o Gráfico 01, percebe-se que o concreto com as porcentagens de PEAD apresentaram o peso reduzido em aproximadamente 45,87%, 32,81% e 23,73% para 100%, 75% e 50% de substituição do agregado graúdo do concreto convencional (C20), respectivamente.

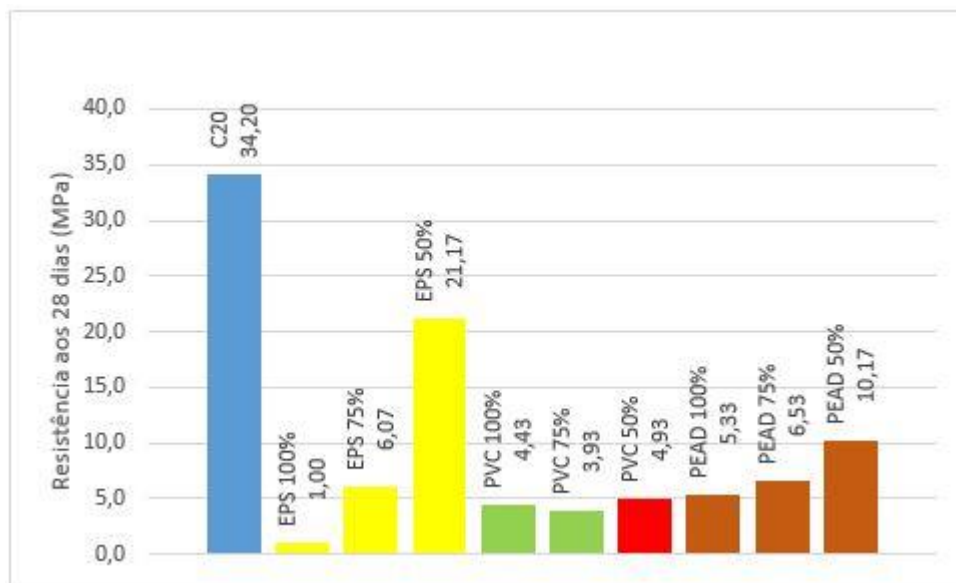
O concreto modificado com EPS teve uma redução de peso de 54,04%, 38,02% e 22,82% e o concreto modificado com PVC teve uma redução de 28,6%, 21% e 14,81%, para as substituições de 100%, 75% e 50%.

Porém, o concreto com a porcentagem de substituição de 50% de PVC, destacado em vermelho no Gráfico 01 e 02, apresentou um dado que ultrapassou os limites dos demais, a massa específica do mesmo foi de 2135,55 kg/m³, resultado esse que acabou desconsiderando-o do experimento, pois segundo a ABNT NBR 6118:2014, a massa específica dos concretos convencionais varia entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, sendo assim, o concreto com 50% de substituição por PVC foi considerado como concreto convencional.

4.4 Resistência a compressão

Analisando a resistência, representada no Gráfico 02, tendo em vista a análise das massas específicas, essas porcentagens aumentam, sendo que para o PEAD, a diminuição da resistência aos 28 dias em média foi de aproximadamente 78,53%, o EPS teve uma diminuição em média de 72,47% da resistência e o PVC diminuiu cerca de 87,04%.

Gráfico 02: Resistência dos concretos aos 28 dias.



Fonte: Autor (2019).

Entretanto, essas resistências não são indicadas para estruturas que exijam muito esforço. Em relação ao estudo feito por CÂNDIDO *et al* (2014), onde foram produzidos blocos de concreto com a utilização de pet reciclado em porcentagens distintas, a análise feita pelos mesmos levou a conclusão de que a utilização de material polimérico reciclado apresentou uma resistência média de aproximadamente 4 MPa dentre as porcentagens utilizadas, sendo elas: 15%, 30% e 40% de substituição em relação ao agregado miúdo.

Neste estudo, consegue-se perceber que o material utilizado no presente experimento é um ótimo substituto de agregado para confecção de blocos de concreto. Conclusão essa que compara-se também com o estudo de GARLET e GREVEN (1997), onde os mesmos utilizaram resíduos de EVA na composição do concreto e obtiveram cerca de 3 MPa de resistência característica (f_{ck}) aos 28 dias, substituindo 60% do agregado natural por resíduos de EVA, seguindo o proposto na ABNT NBR 7173:1982 onde a resistência média para o uso de blocos na vedação de vãos é de 2,5 MPa.

Enfim, os materiais que apresentaram resistências acima de 2,5 MPa, podem ser utilizados em blocos vazados de concreto sem função estrutural sem apresentarem maiores complicações.

5 CONCLUSÕES

Com a pesquisa laboratorial completa, em que o objetivo principal foi analisar qual polímero apresentava um melhor desempenho na produção de concreto leve, foi possível concluir que dentre as misturas com concreto convencional C20, a mistura com 50% de EPS foi a única a apresentar resistência considerável de utilização no ramo da construção civil, podendo até ser utilizada em concreto estrutural.

A fim de classificar os concretos modificados, aqueles com grânulos de PEAD e EPS foram considerados concretos leves, visto que reduziram as suas massas em aproximadamente 35% em relação ao concreto C20 (convencional). O concreto modificado com porcentagens de PVC acabou sendo o pior por ser o mais pesado, tendo a mistura de 50% desconsiderada por ultrapassar o limite de concreto leve (até 2000 kg/m³ segundo a ABNT NBR 6118:2014) e além disso ser o menos resistente entre os três materiais analisados, apresentando uma média de aproximadamente 4 MPa aos 28 dias.

Por fim, foi possível constatar que apesar de apresentarem resistências à compressão baixas, os concretos modificados com polímeros são úteis para uso como bases para pavimentação, regularizações e elementos pré-fabricados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo das propriedades elásticas dos concretos leves;
- Comparação de concretos leves: substituição do agregado por EVA e PET;
- Estudo da viabilidade econômica na produção do concreto leve estrutural e de preenchimento.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the use of polymers in concrete** (ACI 548.1R97) ACI Committee 548, USA, 1997, 29p.

ASKELAND, D.R.; PHULÉ P.P. **Ciência e engenharia dos materiais**. 1 ed. São Paulo, SP. 2008. 579p.

ABNT. NBR 5738, **Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 5739, **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT NBR 7173: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural**. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT NBR 7211, **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT NBR 12655, **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. v.2. 5 ed. Rio de Janeiro, RJ. 1994. 955p.

BIASOTTO, E.M. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo, SP. 1991. 182p.

CÂNDIDO, L. F.; BARRETO, J. M. L.; CABRAL, A. E. B. **AValiação de blocos de concreto produzidos com PET reciclado**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, AL. Nov. 2014.

CZARNECKI, Lech. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources. **Concrete-polymer Composites: Trends Shaping the Future**, Japan, v.15, n.1, 5p, jul. 2007.

FIGUEIREDO, A.D.; Djanikian, J.G.; Helene, P.R.L.; Selmo, S.M.S.; John, V.M. **Concretos especiais**. São Paulo, Escola Politécnica – USP. 2004.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. **CONCRETO LEVE USANDO RESÍDUOS DE E.V.A. DA INDÚSTRIA CALÇADISTA**. I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela, RS. Nov. 1997.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, SP. 1994. 572p.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland**. 13 ed. São Paulo, SP. 1998. 299p.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 11 ed. São Paulo, SP. 1998. 423p.

ROCHA, G. S.; LIMA, A. C. A. C.; KONAGAMO, N. Y. H. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. **A utilização de plásticos na construção**. COBENGE. Belém, PA. 2012.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto Leve Estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1. Ed. São Paulo, SP, 2009. 144 p.

SMITH, W. F. **Princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3 ed. Lisboa. 1998. 885p.

SMITH, W.F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. 5 ed. Porto Alegre, RS. 2012. 691p.

TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P.R.L. Concreto: Ciência e Tecnologia, n.12. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. IBRACON. São Paulo, SP. 2011.

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS

Tabela 07: Granulometria areia.

Amostra 1 – Areia				Amostra 2 – Areia		
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
4,75	9,3	1,26	1,26	14,5	1,976	1,976
2,36	6,8	0,92	2,18	8,7	1,185	3,161
1,18	30,7	4,16	6,34	37,3	5,111	8,272
0,6	87	11,79	18,13	92,7	12,634	20,906
0,3	278,1	37,7	55,83	261,5	35,64	56,546
0,15	292,4	39,64	95,47	272,9	37,195	93,741
Fundo	33,2	4,5	100	46,1	6,283	100
	<u>737,5</u>			<u>733,7</u>		

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 08: Granulometria brita 0.

Amostra 1 – Brita 0				Amostra 2 – Brita 0			Amostra 3 – Brita 0		
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	82,24	4,18	4,18	81,24	4,13	4,13	80,59	4,1	4,1
6,3	1092,94	55,51	59,69	1079,65	54,89	59,02	1071,11	54,45	58,55
4,75	566,94	28,8	88,49	560,05	28,47	87,49	555,62	28,25	86,8
2,36	213,1	10,82	99,31	224,6	11,42	98,91	207	10,52	97,32
1,18	11,4	0,58	99,89	17,2	0,87	99,78	28,5	1,45	98,77
Fundo	2,1	0,11	100	4,1	0,21	100	24,1	1,23	100
	<u>1968,7</u>			<u>1966,8</u>			<u>1966,9</u>		

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 09: Granulometria brita 1.

Amostra 1 – Brita 1				Amostra 2 – Brita 1			Amostra 3 – Brita 1		
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	21,1	0,42	0,42	11,4	0,22	0,22	0	0	0
12,5	4623,9	92,77	93,19	682,8	13,69	13,91	4036,6	80,94	80,94
9,5	203	4,07	97,26	4049,6	81,2	95,11	782,9	15,69	96,63
6,3	127,3	2,55	99,81	223,8	4,49	99,6	141,2	2,83	99,46
4,75	5,6	0,112	99,92	11,2	0,22	99,82	3,8	0,076	99,53
Fundo	3,1	0,06	100	3,8	0,07	100	2,1	0,042	100
	<u>4984</u>			<u>4982,6</u>			<u>4966,6</u>		

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 10: Granulometria PEAD.

Amostra 1 – PEAD				Amostra 2 – PEAD			Amostra 3 – PEAD		
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,75	1,8	0,38	0,38	1,8	0,38	0,38	2,3	0,48	0,48
2,36	466,4	99,44	99,82	467,6	99,48	99,86	472,8	99,48	99,96
1,18	0,4	0,18	100	0,1	0,12	100	0,2	0,04	100
0,6	0	0	100	0	0	100	0	0	100
0,3	0	0	100	0	0	100	0	0	100
Fundo	0	0	100	0	0	100	0	0	100
	<u>468,6</u>			<u>469,5</u>			<u>475,3</u>		

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 11: Granulometria PVC.

Amostra 1 – PVC				Amostra 2 – PVC			Amostra 3 – PVC		
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,75	32,8	3,79	3,79	13,1	1,5	1,5	24,9	2,76	2,76
2,36	829,6	96,02	99,81	859,2	98,42	99,91	874,4	97,04	99,8
1,18	1,4	0,19	100	0,9	0,1	100	1,9	0,21	100
0,6	0	0	100	0	0	100	0	0	100
0,3	0	0	100	0	0	100	0	0	100
Fundo	0	0	100	0	0	100	0	0	100
	<u>863,8</u>			<u>873,2</u>			<u>901,2</u>		

Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE B – MASSAS ESPECÍFICAS DOS MATERIAIS

Tabela 02: Massa específica areia.

Amostra 1				
$Va = \frac{m2 - m1}{\rho a}$	Massa do conjunto {frasco + agregado} em g (m1)	Massa do conjunto {frasco + agregado + água} em g (m2)	Massa específica da água em g/cm³ (ρa)	Volume de água adicionada ao frasco (cm³)
	671,6	972,4	1,0	300,8
$d = \frac{m}{(V - Va) - \frac{ms - m}{\rho a}}$	Massa seca em estufa em g (m)	Massa da amostra saturada em g (ms)	Volume frasco em cm³ (V)	Volume de água adicionada ao frasco em cm³ (Va)
	500	972,4	1000	300,8
Amostra 2				
$Va = \frac{m2 - m1}{\rho a}$	Massa do conjunto {frasco + agregado} em g (m1)	Massa do conjunto {frasco + agregado + água} em g (m2)	Massa específica da água em g/cm³ (ρa)	Volume de água adicionada ao frasco (cm³)
	715,66	1036,2	1,0	320,53
$d = \frac{m}{(V - Va) - \frac{ms - m}{\rho a}}$	Massa seca em estufa em g (m)	Massa da amostra saturada em g (ms)	Volume frasco em cm³ (V)	Volume de água adicionada ao frasco em cm³ (Va)
	532,8	1036,2	1000,0	320,53

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 03: Massa específica brita 0.

Fórmula	Amostra 1			
$d = \frac{m}{ms - ma}$	Massa ao ar da amostra seca (g)	Massa da amostra na condição saturada (g)	Massa em água da amostra (g)	Massa específica do agregado seco (g/cm³)
	1000	1017,8	668,7	2,865
Fórmula	Amostra 2			
$d = \frac{m}{ms - ma}$	Massa ao ar da amostra seca (g)	Massa da amostra na condição saturada (g)	Massa em água da amostra (g)	Massa específica do agregado seco (g/cm³)
	1000	1031,9	671,7	2,776

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 04: Massa específica brita 1.

Fórmula		Amostra 1		
$d = \frac{m}{m_s - m_a}$	Massa ao ar da amostra seca (g)	Massa da amostra na condição saturada (g)	Massa em água da amostra (g)	Massa específica do agregado seco (g/cm³)
	1000	1022,88	689,9	3,003

Fórmula		Amostra 2		
$d = \frac{m}{m_s - m_a}$	Massa ao ar da amostra seca (g)	Massa da amostra na condição saturada (g)	Massa em água da amostra (g)	Massa específica do agregado seco (g/cm³)
	1000	1023,3	693	3,028

Fonte: Autor, 2019.